

**П.А. КАЧАНОВ**, д.т.н. профессор, (г. Харьков)

**А.А.ЗУЕВ** (г. Харьков)

## **МЕТОД СГЛАЖИВАНИЯ ГРАНИЦ НА КОМПЬЮТЕРНО-СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

У статті розглянутий метод видалення ступінчастості на комп'ютерно-синтезованих зображеннях. Для визначення точок зображення які створюють сходинки пропонується використовувати фільтр виділення контурів Кенні, після якого, пікселі, що належать контуру обробляються фільтром низьких частот.

The method of aliasing removal on computer-synthesized images is considered in this article. Canny's edge-detect filter is used for aliasing pixels detect. In the next, a pixels that belong to a contour is processed by the low-pass frequencies filter.

В настоящее время широкое распространение получили методы синтеза изображений при помощи ускорителей трехмерной графики. Одной из особенностей таких, синтезированных изображений является так называемый эффект ступенчатости изображения [1]. Его возникновение связано с тем, что ускоритель визуализирует изображение попиксельно, а так как пиксели в общем случае имеют квадратную форму, на краях линий образуются ярко выраженные ступеньки (рисунок 1).

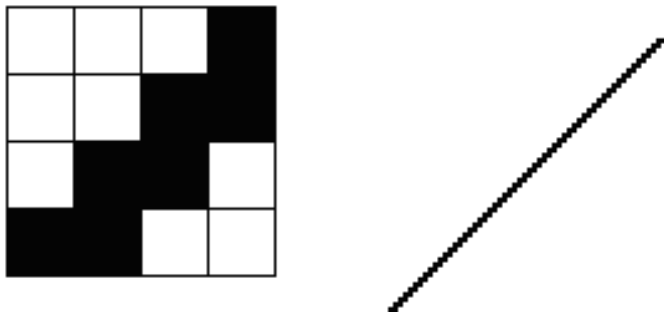


Рис. 1. Эффект ступенчатости на изображении

В процессе растеризации графического примитива ускоритель определяет цвет каждого пикселя на основе выборки цвета из его центра. Если примитив проходит через центр пикселя, то пиксель закрашивается цветом выборки в центре пикселя, иначе цвет пикселя остается неизменным (рис. 2).

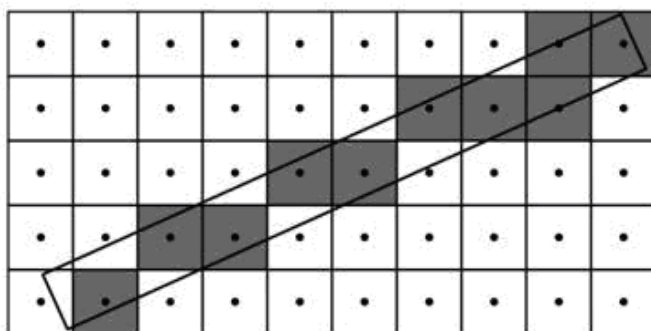


Рис. 2. Фрагмент растеризированной линии

Согласно теореме отсчетов Котельникова [2], сигнал может быть точно восстановлен по своим отсчетам, взятым с частотой, не меньше удвоенной частоты сигнала. Если частота отсчетов меньше удвоенной частоты сигнала, его не удастся восстановить точно. Теоретически повысив размеры растеризируемого изображения более чем в два раза, можно избавиться от эффекта ступенчатости. Но такой подход в большинстве случаев не применим, из-за технических ограничений - современные устройства визуализации позволяют изменять разрешение в небольших пределах, и по соображениям производительности, так как увеличение разрешения в два раза, требует увеличения объема занимаемой изображением памяти и вычислительной мощности в четыре раза.

В современных ускорителях трехмерной графики аппаратно встроены средства для устранения эффекта ступенчатости – полноэкранное сглаживание (SSAA), краевое сглаживание (MSAA) и ряд других специализированных техник. Основная идея всех методов устранения ступенчатости – для получения результирующего цвета пикселя используется несколько выборок цвета и их фильтрация. В зависимости от реализованного алгоритма изменяется положение выборок относительно центра пикселя, их количество, вид обрабатываемых пикселей (все пиксели, либо пиксели на краях примитивов, или пиксели "отмеченные" программно).

Несмотря на широкое распространение различных методик сглаживания ступенчатости и их аппаратную реализацию в ускорителях трехмерной графики иногда их использование невозможно по различным причинам – специальные режимы визуализации, низкое быстродействие, недостаточное качество и т.д. В этом случае может потребоваться сглаживание изображения программными методами. В статье будет рассмотрен один из методов такого сглаживания.

Суть предложенного метода заключается в следующем. Пиксели изображения, которые приводят к возникновению эффекта ступенчатости, обычно представляют собой пиксели лежащие на границе двух областей с различной яркостью, таким образом, их можно найти на полученном изображении и обработать.

Для нахождения пикселей образующих ступеньки предлагается использовать фильтр выделения контуров [3]. Исходное изображение (массив  $f$ ) подвергается обработке, направленной на усиление перепадов яркости, - контрастированию. В результате формируется массив  $g$ . Контрастное изображение за счет порогового ограничения преобразуется в бинарное изображение, каждый единичный пиксель которого соответствует точке перепада яркости.

Перепады яркости обычно отделяют друг от друга две области изображения с различной яркостью. Очевидно, что интересующие нас пиксели образующие видимую ступеньку на изображении образуют перепад яркости. Схематичное изображение одномерного перепада представлено на рис. 3.

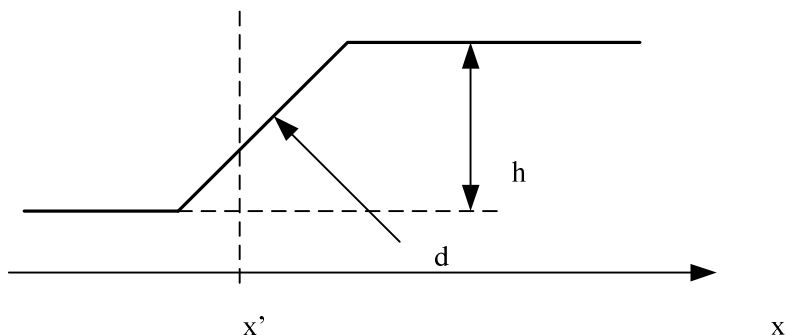


Рис. 3. Схематичное изображение перепада яркости

Существует множество различных методов выделения границ [4], основные из которых: метод Лапласа, операторы Робертса, Собеля и Превита, фильтр Кенни (*Canny*). Для определения точек изображения образующих ступеньку целесообразно находить границы достаточно точно, поэтому более подходящим будет являться фильтр Кенни [5], он дает наиболее точные и тонкие границы, что практически исключает обработку пикселей примитивов не лежащих на границах.

Определение краевых пикселей производится следующим образом. С исходного изображения удаляются шумы, например фильтром Гаусса

$$g(x, y) = f(x, y) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где  $x, y$  - координаты точки изображения;  $\sigma$  - параметр фильтра, определяющий величину размытия (подбирается экспериментально).

Далее проводится вычисление откликов фильтра при помощи матричного преобразования показанного на рис. 4.

-1	1
-1	1

-1	-1
1	1

Рис. 4. Представление фильтра Кенни в матричном виде

Амплитуда контура  $M$  в точке вычисляется по следующему выражению

$$M = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (2)$$

где  $P$  и  $Q$  - отклики фильтра, вычисленные при помощи матричных преобразований (рис. 4).

Определение направления контура производится следующим образом

$$\theta = \arctan\left(\frac{Q}{P}\right). \quad (3)$$

При выборе соседней точки необходимо определить один из возможных вариантов прохождения контура (рис. 5).

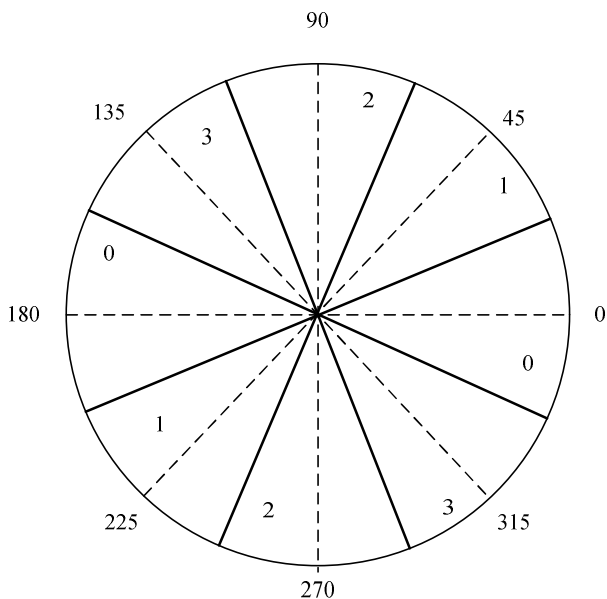


Рис. 5. Возможные направления прохождения контура через точку, разбитые на 4 сектора

Номер сектора вычисляется следующим образом:

$$S = \left\lfloor 4 \left( A - \frac{\pi}{16} \right) \right\rfloor, \quad (4)$$

где  $\lfloor \rfloor$  - операция округления к ближайшему меньшему целому,

$$A = \frac{|\theta|}{\pi}.$$

В зависимости от номера выбранного сектора производится выбор двух соседних точек из 8 возможных по диагоналям либо горизонтали и вертикали. Дальнейшая обработка изображения ведется следующим образом:

- сравнивается амплитуда текущей точки  $M_c$  с амплитудами соседних

точек  $M_1, M_2$ ;

- если  $M_c > M_1$  и  $M_c > M_2$  - текущая точка локальный максимум, находится на контуре – отмечается белым цветом;
- иначе точка не принадлежит контуру – отмечается черным цветом.

Полученное черно-белое изображение, где черный цвет соответствует внутренним пикселям, а белый точкам лежащим на границах используется как уровень размытия изображения для сглаживающего фильтра.

В результате исследований установлено что:

- приведенный выше метод позволяет устранять ступенчатость на компьютерно-синтезированных изображениях.
- возможна реализация подобного метода устранения ступенчатости в реальном масштабе времени с использованием ускорителей трехмерной графики.

Дальнейшим развитием описанного метода может являться, определение пикселей образующих ступеньки на синтезированном изображении не только по их яркостным характеристикам, но и используя информацию о геометрическом представлении объектов – нормали и положение точки в трехмерном пространстве.

**Список литературы:** 1. *Crow, Franklin C.* "The Aliasing Problem in Computer-Generated Shaded Images", Comm. ACM, Vol. 20, No.11, 1977, pp 799-805. 2. *Котельников В. А.* О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи — Всесоюзный энергетический комитет. // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933. 3. *Каппелини В., Константинодис Дж., Эмилиани П.* Цифровые фильтры и их применение. М.: Энергоатомиздат, 1983. 4. *Criffith A.K.*, Edge Detection in Simple Scenes Using A Priori Information, IEEE Trans. On Computers, 22, № 5, 551 – 561 (1971). 5. *J Canny*, A computational approach to edge detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.8 n.6, p.679-698, Nov. 1986.

*Поступила в редколлегию 16.07.08*